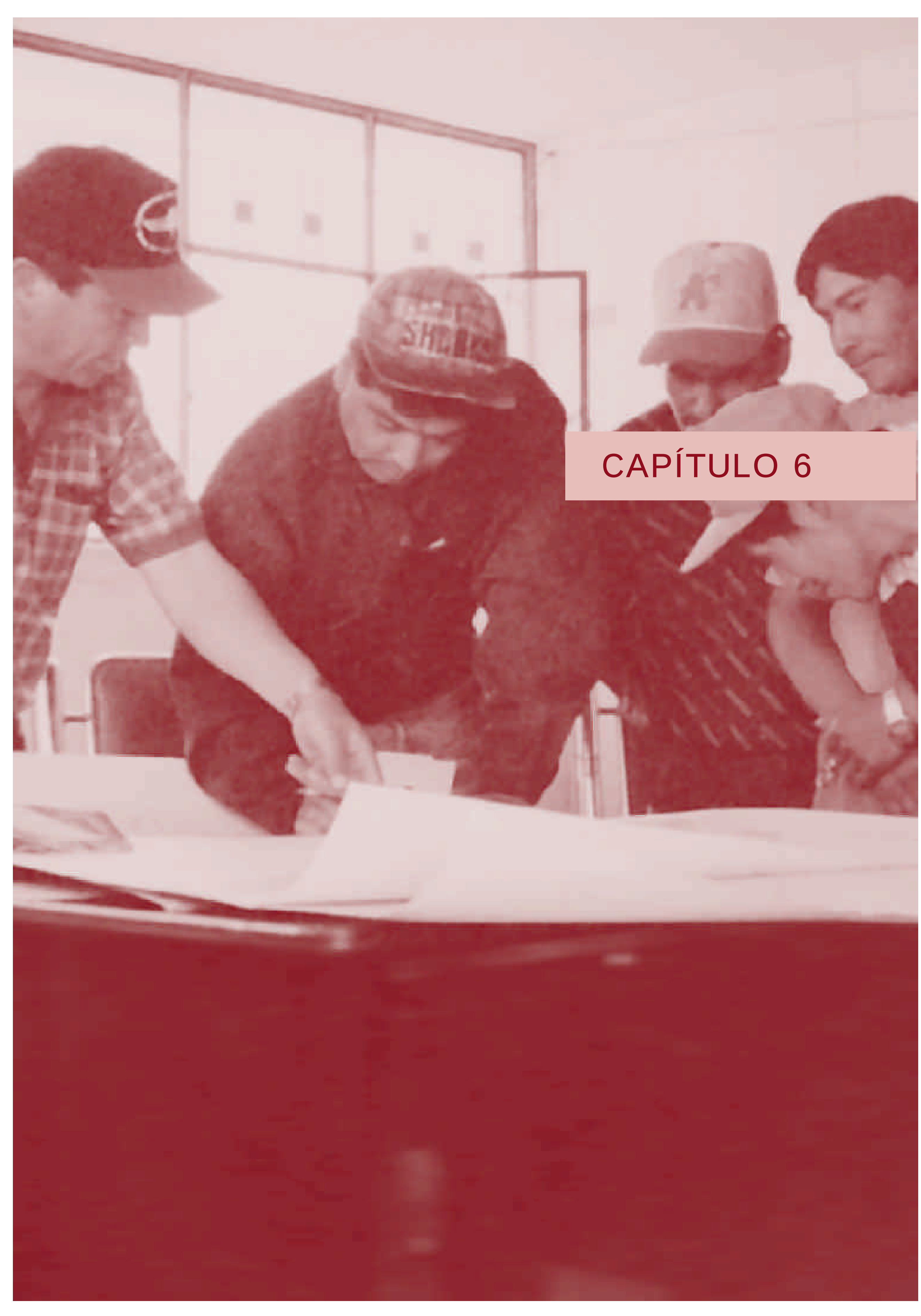

CAPÍTULO 6

PLANIFICACIÓN DE EMERGENCIAS

La información en este capítulo se debe utilizar para mejorar los procedimientos de preparación y respuesta frente a sismos. Se presenta un plan de respuesta frente a emergencias elaborado para proveedores de agua, que ha sido diseñado para abordar los diferentes tipos de emergencias y desastres, entre los que se encuentran los sismos. Las secciones incluyen un breve comentario sobre su pertinencia para la respuesta a sismos. Si bien no es una condición crítica que un plan de emergencia se organice siguiendo este formato, todos los puntos incluidos en este esquema deben ser considerados en alguna parte del plan.

Para complementar esta sección se recomiendan las siguientes referencias bibliográficas: el Manual M19 de AWWA, *Emergency planning for water utility management*, y el documento *Emergency management: principles and practice for local government*, editado por Thomas Drabek y Gerard Hoetmer, que se encuentra disponible en la International City Management Association, así como el documento de la OPS/OMS, *Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: guías para una respuesta eficaz*, 2002.

Esquema del plan

Introducción, política y prioridades

El plan de emergencia debe contar con una página introductoria que describa el propósito del plan e incluya información sobre la organización. Para tener una mejor idea de las prioridades que deben ser identificadas durante la respuesta a emergencias, identifique las prioridades de los servicios para abastecer áreas tales como (1) protección contra incendios, (2) instalaciones de emergencia (hospitales) y (3) servicios comerciales y residenciales.

Autoridad y activación

Defina el procedimiento para establecer una autoridad que se encargue de activar y poner en práctica el plan de emergencia; ésta debe definir claramente el proceso de declaración de una emergencia.

Organización del personal para tomar acción en casos de emergencias

Establezca un sistema de organización para las operaciones de oficina y las operaciones de campo después de ocurrido un desastre. Se sugiere una organización diseñada alrededor del personal de operaciones. Identifique como mínimo a dos personas, en orden de autoridad, para cada puesto clave. Si una persona no está disponible, la persona suplente tendrá la autoridad de llevar a cabo las actividades directamente.

Funciones y responsabilidades

Es importante identificar a aquellas personas que tendrán más probabilidad de tomar acción y movilizarse después de un sismo, y determinar la manera de incrementar el número de personas que podrían ayudar. La naturaleza humana hará que la mayor parte de la gente se dirija a sus hogares para cuidar de sus familias si se encuentran trabajando o quedarse en casa si ya se encuentran ahí. Al personal que vive a grandes distancias de su lugar de trabajo puede resultarle difícil movilizarse debido al cierre de las carreteras. Resulta útil discutir abiertamente quién estaría disponible para movilizarse según los compromisos familiares que tenga y la proximidad a su lugar de trabajo. Aquellos que no tienen familia pueden estar en mejor capacidad de actuar. El personal que esté preparado para actuar en caso de que se produzca una emergencia en su casa podrá responder mejor en su centro laboral.

Matriz de efecto-respuesta

La matriz de efecto-respuesta debe incluir los tipos potenciales de emergencias y desastres, e identificar sus potenciales efectos sobre cada componente del sistema. Durante un procedimiento de respuesta frente a emergencias, la matriz puede servir como una lista de verificación a fin de dar mayor prioridad a los esfuerzos de evaluación y estabilización.

Listas de verificación para la respuesta frente a emergencias y formularios de inspección

Centro de operaciones de emergencia

Establezca un centro de operaciones de emergencia (COE), pase lista al personal, envíe a los equipos de evaluación de daños y establezca una estación de primeros auxilios –todo ello debe estar en conformidad con las listas de verificación.

Comunicaciones

Realice un inventario de los sistemas que estén en funcionamiento y establezca comunicaciones con el COE del municipio y país, y otras jurisdicciones locales.

Pasar lista al personal

Establezca un procedimiento para identificar al personal que haya respondido al llamado de emergencia. Esto ayudará a tener una idea clara de la cantidad de personal disponible. También ayuda a verificar si todo el personal esperado se encuentra presente.

Seguridad

Elabore una lista de verificación de los procedimientos estándares de seguridad que deben usarse durante la respuesta a la emergencia. Estos procedimientos no difieren de aquellos normalmente usados, más bien son una herramienta que ayuda al personal durante un periodo de estrés.

Evaluación de daños

Establezca un procedimiento para ayudar al personal de operaciones durante la fase de evaluación de daños. Para mayor información, consulte la sección sobre restauración de la operatividad más adelante en este capítulo.

Primeros auxilios

Identifique un lugar donde se pueda establecer una estación de primeros auxilios e indique claramente dónde se encuentran los suministros de primeros auxilios. Elabore una lista de los miembros del personal que estén capacitados en primeros auxilios y otra lista con los números telefónicos, la ubicación de las instalaciones y el personal de ayuda en casos de emergencia.

Información pública

Dé a conocer la información a través de una sola fuente a fin de que dicha información sea coherente y correcta. Elabore una lista de verificación para identificar a quiénes se debe dar a conocer dicha información y cuándo. Brinde orientación general sobre el tipo de información que debe ser compartida; por ejemplo, tipo de daño, efecto sobre el servicio, tiempo requerido para restaurar el servicio, y precauciones que los usuarios deben tomar, tales como hervir el agua.

Mantenimiento de registros

Es fundamental mantener todos los registros de las actividades realizadas para atender la emergencia y reparar los daños producidos por el sismo. Se usarán formatos previamente elaborados, que pueden ser de mucha utilidad para tramitar el reembolso por parte de compañías aseguradoras. Mantenga un registro de la información sobre horas extras, materiales y equipo usado en los procedimientos de respuesta y recuperación.

Restauración de la operatividad

La restauración de las operaciones en caso de sismos puede resultar abrumadora debido a la cantidad de emergencias que ocurren simultáneamente. Por tanto, es importante definir y comprender bien estas tareas antes de que ocurra el sismo. A continuación se presentan ejemplos de algunas acciones de restauración de las operaciones.

Evalúe, estabilice y aísle los daños. Debido a que las fugas de agua pueden ocasionar el desagüe inmediato de un tanque u otros daños secundarios, se debe tomar acción inmediatamente. Una alternativa es verificar instalaciones y trazado de las tuberías preasignadas antes de ingresar a la oficina. Las personas con vehículos equipados con radio pueden informar rápidamente a la oficina.

Cuando se esté llevando a cabo las tareas de inspección de las instalaciones y tuberías, utilice este documento para identificar las instalaciones más vulnerables.

Verifique continuamente que todas las válvulas del sistema estén accesibles, en funcionamiento y que pertenezcan a un mapa de aislamiento definido. Como parte de esta tarea, se debe elaborar un procedimiento para evaluar rápidamente los tanques elevados y desaguarlos en caso muestren indicios de daño. Las réplicas pueden causar el colapso de un tanque ya dañado.

Determine las prioridades. Es importante tener un panorama completo de la magnitud de los daños antes de enviar a los equipos de reparación. Estos equipos son valiosos y no deben ser “desperdiciados” en el primer daño identificado. Como se mencionó, es importante dar prioridad a los servicios.

Opere las instalaciones que han quedado intactas. Opere los pozos y estaciones de bombeo restantes para llenar los tanques.

Racione el agua. Tenga en cuenta de dónde provendrá el agua antes de destinarla a un uso.

Tratamiento, bombeo y distribución de emergencia. Utilice cloradores portátiles, grupos electrógenos y sistemas temporales de distribución, según se requieran.

Abastecimiento de agua de emergencia. Distribuya agua a través de camiones cisterna, agua embotellada o un sistema temporal de distribución sobre el terreno, según se requiera.

Repare los daños según su prioridad. Fotografíe y describa los tipos de daño que ocurrieron para permitir que los investigadores tengan una mejor idea de los efectos sísmicos. Considere la interacción de las tuberías matrices de agua y desagüe desde una perspectiva de calidad del agua.

Monitoree la cantidad y calidad del suministro.

Emergencias específicas

A continuación se incluye una lista de emergencias específicas que podrían ser consideradas en un plan de emergencia. Añada o elimine puntos según sus condiciones locales:

- corte de energía eléctrica
- sismo
- contaminación del sistema
- erupción volcánica
- tormenta de hielo o nieve
- inundación
- deslizamientos
- escasez o huelga de personal
- ingreso no autorizado o sabotaje
- incendios forestales

Capacitación adicional

Las sesiones de capacitación continua son fundamentales para un buen programa de respuesta frente a emergencias. Las sesiones de capacitación permiten poner a prueba el plan de emergencia y mejorarlo basado en lo que se ha aprendido. Se debe incluir al personal nuevo en este programa y refrescar la mente del personal con nuevas estrategias de respuesta. La capacitación se debe dar en tres niveles:

1. nivel gerencial;
2. según la función de los equipos técnicos, y
3. en todo el sistema.

Realice ejercicios con otros departamentos dentro de la jurisdicción o jurisdicciones contiguas.

Actualización del plan

Tome las medidas necesarias para actualizar el plan de manera continua.

Documentos y suministros para la respuesta frente a emergencias

Lista de contactos de emergencia

- Lista del personal, números telefónicos, radio. Elabore un organigrama.
- Área de jurisdicción. El municipio es el punto central para la respuesta frente a emergencias.

  Los distritos especiales, como los distritos de agua, a menudo no son considerados en el plan de respuesta a emergencias del municipio. El COE puede ser un elemento clave en la adquisición de equipos y materiales críticos para reparaciones que, de otro modo, no estarían disponibles después de un sismo.

  Los departamentos de bomberos de la ciudad dependen de la operación del suministro de agua. Necesitan estar al tanto de aquellas áreas cuyo sistema de agua no se encuentre en operación. Las ciudades deben tener operativo su propio plan de respuesta frente a emergencias. Póngase en contacto con cada una de las jurisdicciones. Obtenga nombres de las personas de contacto, número telefónicos de emergencia y, si fuese necesario, adquiera radios con las mismas frecuencias que esas jurisdicciones. (Nota: es probable que los teléfonos no funcionen, principalmente debido a una sobrecarga).
- Lista de contactos para equipos, suministros y servicios. Mantenga una lista actualizada de los proveedores de equipos, materiales y servicios. La mayoría de municipalidades hará lo mismo; y dependerán de los mismos contratistas y proveedores de equipos. Se sugiere identificar los equipos, materiales y suministros requeridos, y hacer contratos vigentes con los proveedores para que estén a su disposición cuando los necesite. Las necesidades típicas incluyen contratistas que dispongan de retroexcavadoras, camiones, materiales para la reparación de tuberías y camiones cisterna.
- Lista de contactos de ayuda vecinal. La magnitud de los daños al sistema puede ser tal que podría agotar los recursos disponibles. Desarrolle acuerdos de ayuda vecinal con otros proveedores de agua similares, de preferencia ubicados a cierta distancia. Un terremoto severo probablemente afectaría a otros distritos cercanos.

  Identifique los requerimientos que necesitan de la asistencia de contratistas o proveedores. Mantenga acuerdos escritos con los contratistas y vendedores para que brinden servicios, equipos, personal y materiales específicos después de un terremoto.

Instalaciones, suministros, materiales y documentos para casos de emergencia

Antes de una emergencia, se debe identificar, adquirir y preparar lo siguiente:

Comité Operativo de Emergencia (COE). Un COE debe estar ubicado en una instalación sismorresistente.

El COE debe tener equipo de comunicaciones; suministro de energía de emergencia, calefacción y electricidad; alimentos y agua por tres días; un mapa del sistema que pueda ayudar a identificar la ubicación y la condición de los lugares afectados; copias del plan de emergencia; evaluación de la vulnerabilidad, y planos de las instalaciones y de las tuberías.

Suministros. Los suministros generales deben incluir materiales de reparación de tuberías, tuberías, equipo de cloración portátil, grupo electrógeno, combustible para el grupo electrógeno y materiales para elaborar señales que deben colocarse en lugares claves a lo largo de la carretera para informar a los clientes sobre la situación del suministro de agua. Almacene los materiales en una instalación simorresistente.

Evalúe el material, equipo y personal requeridos para la reparación de los daños. En el plan de respuesta frente a emergencias incluya una lista predeterminada de los recursos necesarios para reparar los daños. Por ejemplo, especifique lo siguiente según el componente y la ubicación: (1) personal requerido, (2) número potencial de tuberías rotas, (3) tiempo de reparación estimado, y (4) otros comentarios. Los recursos y el tiempo requerido se pueden estimar basados en una evaluación de la vulnerabilidad del sistema a un terremoto de base operativa (TBO) y un terremoto de diseño (TDD), como ya se describió en este documento. Considere almacenar los repuestos requeridos para un terremoto de base operativa y adquiera de antemano repuestos de los proveedores de materiales para el caso de un terremoto de diseño. Mantenga un stock de accesorios y tuberías de repuesto en depósitos ubicados a lo largo del área de servicio en aquellos lugares que seguirán siendo accesibles después de un sismo.

Sistema y equipo de seguridad. Planifique y proporcione un sistema para controlar la entrada del personal de emergencia (incluidos personal de oficina, ayuda vecinal y contratistas) a las áreas seguras para hacer reparaciones.

Equipo de comunicaciones. Incluya radios y teléfonos celulares.

Lista del personal

Mantenga una copia de la información detallada sobre el personal en un lugar fuera de las instalaciones de la oficina.

Documentos importantes y lista de los encargados de los documentos

Tenga copias del plan de emergencia.

Evaluaciones de la vulnerabilidad

Haga y mantenga en diversos lugares copias de las evaluaciones de la vulnerabilidad para casos de sismos y otros desastres.

Planificación en el peor de los escenarios

Cree escenarios de eventos sísmicos para la planificación frente al desastre; por ejemplo, un terremoto de magnitud 8,3. Utilice este escenario como una herramienta para determinar las posibles amenazas que surgirían después de un verdadero terremoto.

Escenarios del sistema hidráulico

Desarrolle un conjunto de escenarios del sistema hidráulico que puedan ser tomados como referencia cuando se desee identificar tuberías dañadas.

Mapas del sistema

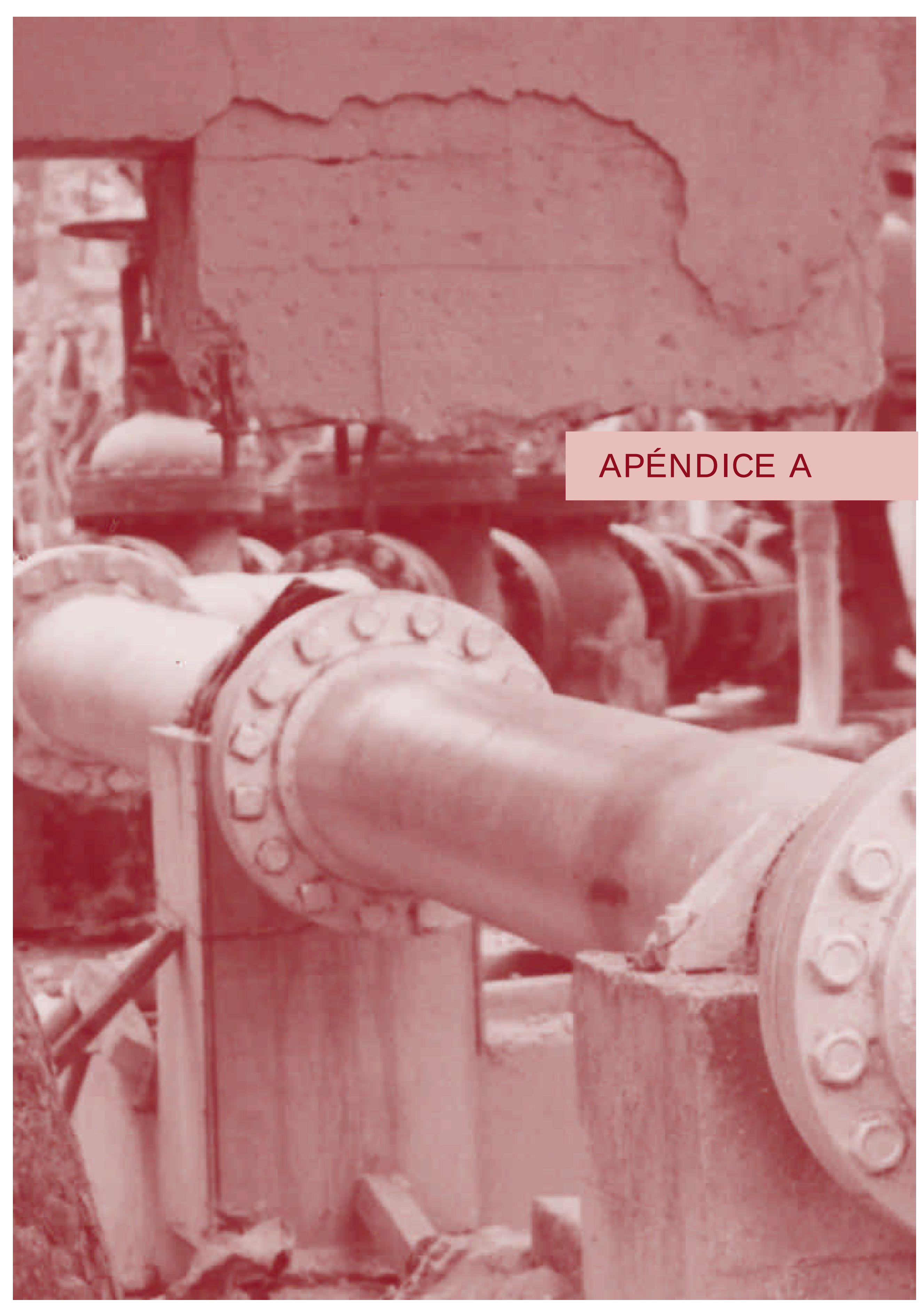
Mantenga copias en diversos lugares.

Planos de la instalación

Mantenga copias en diversos lugares.

Esquemas simplificados de la instalación e instrucciones de operación

Elabore esquemas simplificados e instrucciones de operación para cada instalación, de manera que puedan ser operadas por alguien que no esté familiarizado con dicha instalación.



APÉNDICE A

SISTEMA DE AGUA DE CIUDAD SÍSMICA
EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

Introducción

Esta sección está diseñada como un ejercicio; póngase en la posición del gerente del sistema con la responsabilidad de desarrollar un programa de mitigación sísmica:

- identifique la vulnerabilidad de cada componente del sistema;
- evalúe la vulnerabilidad del sistema como un todo, y
- desarrolle un programa de mitigación sísmica que incluya tareas de mitigación en orden de prioridad.

En la figura A-1 se ilustra un sistema de agua y sus componentes típicos. Después de la descripción de los componentes del sistema, se incluye una lista de las deficiencias que han sido identificadas por el personal del sistema de agua que participó en este ejercicio.

Descripción del sistema de agua

El sistema se muestra en la figura A-1 y presenta las siguientes características:

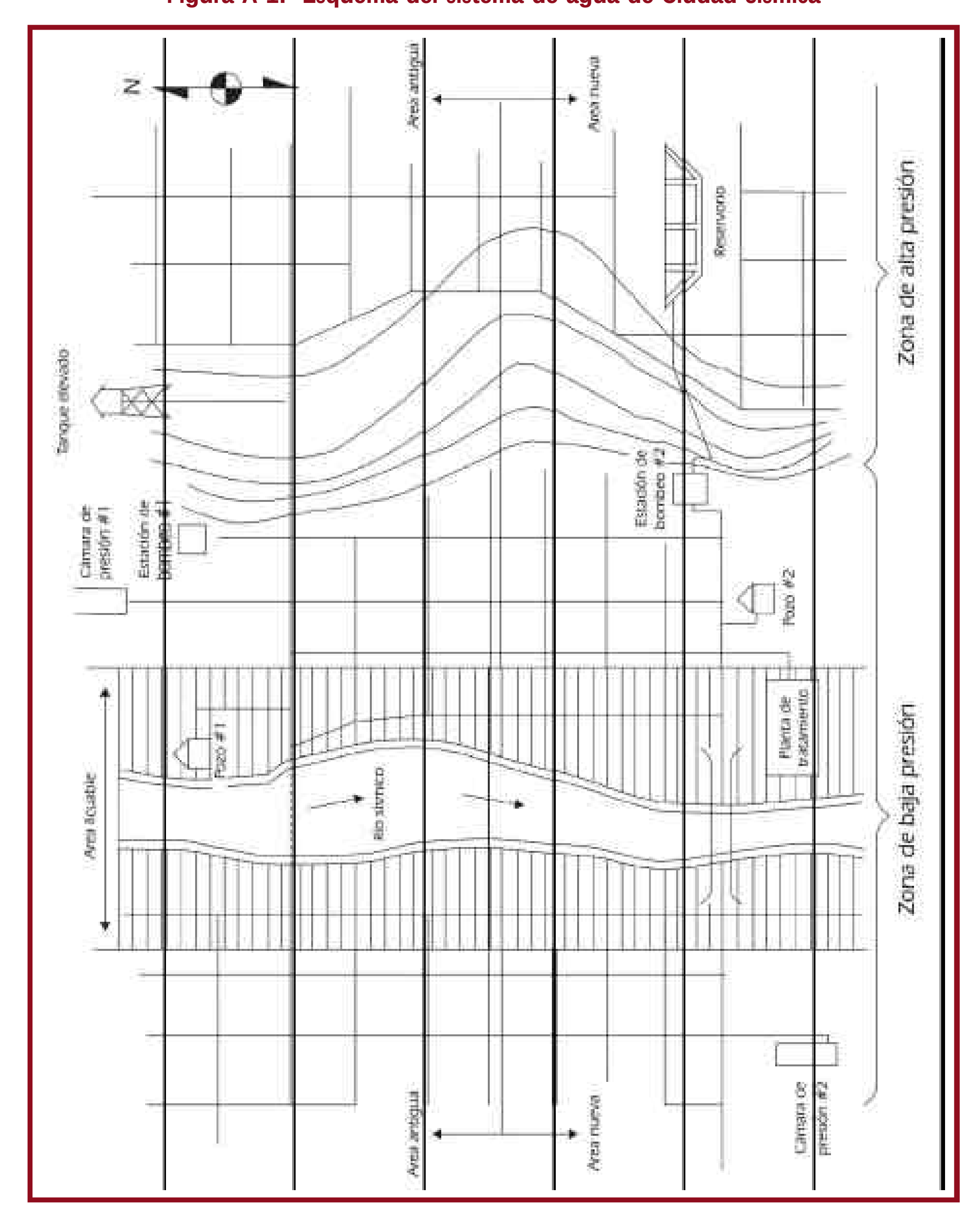
- El agua es suministrada principalmente por la planta de tratamiento de agua que extrae agua no tratada del Río Sísmico.
- Durante periodos de demanda máxima en el verano, se operan los pozos 1 y 2.
- Las cámaras de presión 1 y 2 se ubican en el sistema de baja presión.
- Las estaciones 1 y 2 bombean el agua hacia el sistema de alta presión.
- El agua se almacena en el reservorio ubicado en la zona de alta presión.
- El agua es repartida al lado oeste del Río Sísmico a través de dos cruces sobre el río: uno enterrado y otro colgado en un puente.
- La demanda diaria promedio del sistema es de 10 mgd (37,5 ML/d) y los picos llegan a 18 mgd (67,5 ML/d) durante el verano.
- La planta de tratamiento tiene una capacidad de 13 mgd (49 ML/d). Cada pozo tiene una capacidad de 4 mgd (15 ML/d).

Condiciones geológicas

Hasta hace poco, los sismos de magnitud 7,2 con epicentro a 50 kilómetros de profundidad bajo la Ciudad Sísmica eran considerados como los sismos máximos esperados. Estudios recientes han determinado la posibilidad de sismos de magnitud 8,5 con el foco a 100 kilómetros al oeste.

El Río Sísmico ha dejado depósitos aluviales a lo largo de su cauce, el mismo que a través de los años ha cambiado de curso mediante meandros por una parte significativa del valle. Los suelos más cercanos a los bordes del valle y al lado este son de origen glacial y son materiales adecuados.

Figura A-1. Esquema del sistema de agua de Ciudad Sísmica



Componentes del sistema

Pozo 1

- construido en 1948;
- cimentado sobre terreno licuable;
- estructura – ¿mampostería reforzada?, techo no anclado a las paredes;
- tuberías enterradas – hierro fundido;
- paneles del centro de control de motores (CCM) – no anclados;
- tuberías de extracción de agua del pozo – sin apoyo lateral; y
- grupo electrógeno (añadido en 1975).

Pozo 2

- construido en 1983;
- construido sobre suelo agrícola de origen glaciar;
- estructura – mampostería reforzada; techo anclado a las paredes;
- tubería enterrada – hierro dúctil;
- paneles eléctricos, equipo y tuberías – con apoyos adecuados; y
- no cuenta con grupo electrógeno.

Planta de tratamiento de agua

- construida en 1971;
- construida sobre suelo licuable;
- estructuras – apoyadas en pilotes; cerco de tubos, captación de río – sin pilotes;
- usa reactores-clarificadores (floculadores);
- el cloro es suministrado por cilindros de una tonelada (no anclados);
- equipo y tuberías – sin apoyo lateral excepto lo requerido para los cambios de dirección de las tuberías, donde se presentan las fuerzas del empuje; y
- grupo electrógeno para la operación de la planta, bombeo de agua no tratada, y bombeo al sistema.

Red de tuberías

- conducción-distribución en área “antigua” – construida en 1948;
- conducción-distribución en área “nueva” – construida en 1971;
- cruce de río enterrado – construido en 1948; y
- cruce de río a través de puentes, puente de vigas de concreto con arcos múltiples – construido en 1973.

Estación de bombeo 1

- construida en 1957;
- ubicada sobre suelo agrícola de origen glaciar;
- edificio: pórticos de madera;

- ¿tubería enterrada?;
- tuberías diseñadas para resistir las fuerzas del empuje;
- ¿panel eléctrico anclado?; y
- no cuenta con grupo electrógeno.

Estación de bombeo 2

- construida en 1971;
- ubicada sobre suelo glaciar;
- estructura – ¿mampostería reforzada?; ¿techo anclado?;
- ¿material en la tubería enterrada?;
- tuberías diseñada para resistir las fuerzas del empuje;
- ¿panel eléctrico anclado?; y
- no cuenta con grupo electrógeno.

Reservorio apoyado

- construido en 1961;
- cimentado sobre suelos adecuados; un lado es un terraplén artificial;
- revestido de concreto;
- techo de concreto añadido en 1978; y
- vía de acceso construida sobre ladera inestable.

Cámara de presión 1

- construida en 1948;
- no cuenta con anclajes;
- los cimientos parecen ser de muro circular;
- 90 pies (27 m) de alto, 60 pies (18 m) de diámetro; y
- conexión externa rígida de tuberías.

Cámara de presión 2

- construida por AWWA D100-84;
- cuenta con anclajes;
- 90 pies (27 m) de alto, 80 pies (24 m) de diámetro; y
- conexión de tuberías a través de la parte inferior.

Tanque elevado

- 150.000 galones (568.000 litros) de capacidad;
- 100 pies (30 m) desde el suelo hasta la altura máxima del agua;
- construido en 1963 por un conocido fabricante de tanques;
- tanque apoyado en seis soportes;
- arriostrado con varillas circulares de fierro y uniones empernadas; y
- cimentación individual para cada soporte del tanque.

Deficiencias del sistema y sus componentes: Alternativas de mitigación

Esta sección describe algunas alternativas de mitigación para el sistema de agua de Ciudad Sísmica, que han sido propuestas por el personal del sistema de agua. Las instalaciones se agrupan según la función del sistema y se describen las deficiencias de cada instalación, seguido de las alternativas de mitigación. Las alternativas de mitigación presentadas no necesariamente se aplican a todas las situaciones similares, ni tampoco se da por sentado que la lista de conceptos sea necesariamente completa.

El alcance de las medidas de mitigación dependerá de los recursos disponibles. Las alternativas de mitigación deben ser implementadas según las prioridades de las categorías de servicios descritas en el capítulo 1 y se deberá dar mayor prioridad a las alternativas de mitigación de bajo costo.

Fuente

Origen de las deficiencias.

Pozo 1

- La tubería de revestimiento del pozo y las tuberías enterradas son vulnerables porque se encuentran en suelos licuables.
- Es probable que la estructura de mampostería no sea reforzada debido a la edad de la edificación.
- Los paneles del centro de control de motores (CCM) y las tuberías no se encuentran anclados.
- Cuenta con grupo electrógeno.

En términos generales, podría decirse que resultaría costoso adecuar este servicio dada la vulnerabilidad del pozo.

Pozo 2

- La instalación tiene una vulnerabilidad baja; sin embargo, no tiene suministro de energía de emergencia.

Planta de tratamiento de agua.

- La instalación se construyó antes de que se realicen modificaciones importantes al Código Uniforme de Construcción después del terremoto de San Fernando de 1971. Por tanto, las estructuras del edificio no son del todo confiables.
- Las estructuras están apoyadas en pilotes, lo cual ayudará a mitigar los efectos de la licuefacción.
- En la bocatoma, las tuberías descubiertas y las tuberías de agua tratada son vulnerables a la licuefacción, que produce la deformación permanente del suelo (DPS).
- Es probable que esta tubería enterrada, instalada en 1971, sea de hierro fundido y, por tanto, vulnerable a la deformación permanente del suelo.
- Los deflectores del clarificador están sujetos al efecto ondulante debido al movimiento de olas producido por el sismo.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación.

- Uno de los pozos y la planta de tratamiento deben cumplir con la demanda.
- Construya interconexiones de emergencia con otros sistemas de abastecimiento de agua que puedan existir en los alrededores.
- Elabore un plan de racionamiento de agua que pueda ser implementado rápidamente en caso de que la fuente tenga que ser reducida.
- Debido a que el pozo 1 es altamente vulnerable, transfiera el grupo electrógeno al pozo 2 (si cuenta con el tamaño adecuado) y realice una prueba bajo carga. Con ese cambio se reducirá

la vulnerabilidad del pozo 2. Otra posibilidad es construir un nuevo pozo para aumentar la producción de aguas subterráneas del pozo 1, pero ubíquelo al lado opuesto del río (si la hidrogeología lo permite) de manera que las fuentes puedan estar mejor distribuidas a lo largo de todo el sistema.

- La planta de tratamiento es vulnerable, pero debe ser reforzada si se espera que continúe funcionando después de ocurrido un sismo.
- Elabore un plan de operaciones para la planta de tratamiento que incluya tratamientos alternativos como evitar el clarificador o toda la planta, pero manteniendo la cloración.
- Considere la filtración directa con una tasa de filtración reducida. Tenga a disposición el equipo y material necesarios para operar la planta en esas modalidades.
- El río puede estar particularmente turbio después de un terremoto debido a que la cuenca hidrográfica está sujeta a deslizamientos. Evalúe el uso de coagulantes alternativos, dosis de coagulantes y tasas de aplicación reducidas para los procesos unitarios. Sepa dónde adquirir esos productos químicos alternativos.
- Como mínimo, ancle los cilindros de cloro. Adapte la instalación de cloración según las normas vigentes para que tenga la capacidad de contener y neutralizar el cloro en el lugar. Otra posibilidad sería convertir el sistema a hipoclorito de sodio.
- Ancle el equipo y las tuberías. Observe que el equipo rotatorio y las tuberías de impulsión diseñados para resistir las fuerzas del empuje estén bien anclados.
- Reemplace o instale una bocatoma en paralelo. Si fuese posible, utilice la perforación direccional para instalar la bocatoma debajo del margen del río que está sujeto a un esparcimiento lateral significativo. Otra posibilidad sería estabilizar el alineamiento, incluido el margen del río. Una tercera alternativa sería usar una tubería que sea altamente resistente a la deformación permanente del suelo. Esta propuesta debe ser evaluada detenidamente para ver si resulta factible.
- Añada flexibilidad a las tuberías enterradas y a las estructuras de interfases. Considere instalar una segunda tubería de agua tratada que vaya desde la planta hasta el sistema de distribución usando materiales sismorresistentes para tuberías, tales como acero soldado o hierro dúctil con uniones rígidas. La deformación permanente del suelo debe ser limitada lo más lejos posible del río.
- Instale deflectores de fibra de vidrio en el reactor y en el clarificador.
- Evalúe las estructuras de los edificios.

Red de tuberías

Deficiencias de las tuberías

- El cruce enterrado del río (sifón) es altamente vulnerable a la deformación permanente del suelo.
- El cruce a través de puentes es vulnerable al asentamiento diferencial en los estribos del puente y al desplazamiento diferencial a lo largo del tramo del puente. A la larga, la vulnerabilidad del cruce dependerá del comportamiento del puente.
- Las tuberías en la ladera que conectan la zona de alta presión pueden estar sujetas a deslizamientos.

La vulnerabilidad de la tubería se puede clasificar como sigue (en orden descendente de vulnerabilidad):

1. Área antigua de la ciudad (es de suponer que es una tubería de hierro fundido): licuable.
2. Área nueva de la ciudad: licuable.
3. Área antigua de la ciudad: no licuable.
4. Área nueva de la ciudad: no licuable.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación

- Debido a que el transporte de agua al lado oeste del río es un problema, evalúe detenidamente los cruces del río y discuta la vulnerabilidad del puente con el propietario (municipalidad, ciudad, etc.). Las medidas de mitigación podrían incluir:
  - adición de juntas flexibles a ambos lados de los estribos;
  - adición de válvulas de corte a cada lado del cruce;
  - provisiones necesarias para la estructura del puente.
- Proporcione válvulas de corte para el cruce enterrado. Si cuenta con financiamiento, construya un nuevo cruce usando la perforación direccional para evitar la capa licuable de suelo. Las alternativas incluyen:
  - construir un pozo adicional en el lado oeste del río;
  - instalar un cruce de río temporal en caso de que ambos cruces fallen durante el evento sísmico.
- Identifique y opere regularmente (al menos una vez por año) las válvulas existentes. Proporcione válvulas de corte automáticas u operadas manualmente entre las áreas licuables y no licuables del sistema. Brinde válvulas controladoras de nivel para alimentar el sistema desde la zona de alta presión hasta la zona de baja presión.
- Inicie un programa de largo plazo para el reemplazo de tuberías (especialmente, la tubería de hierro fundido) en áreas licuables.
- Construya estaciones de extracción de agua del río para permitir que los camiones de bomberos bombeen agua en casos de extinción de incendios.
- Estabilice el trazado de la tubería en la ladera o instale una tubería en paralelo en un alineamiento estable.

Estaciones de bombeo a zona de alta presión

Deficiencias.

Estación de bombeo 1.

- La estructura puede no estar anclada a los cimientos. Por lo demás, las estructuras de madera resisten bien los terremotos.
- Los paneles eléctricos pueden no estar debidamente anclados.
- No cuenta con energía eléctrica de emergencia.
- Observe que si bien la tubería enterrada probablemente es de hierro fundido (de acuerdo con la fecha de construcción), la tubería de hierro fundido en suelos adecuados no es altamente vulnerable a sismos.

Estación de bombeo 2.

- La instalación puede no estar diseñada según las normas sísmicas vigentes.
- Los paneles eléctricos pueden no estar anclados.
- No cuenta con energía eléctrica de emergencia.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación

- Al menos una de las dos estaciones de bombeo debe estar en operación para abastecer a la zona de alta presión.
- Evalúe las edificaciones. Los costos para su adecuación deben mantenerse al mínimo.

- En caso requerido, ancle los paneles eléctricos.
- Instale un grupo electrógeno permanente en una de las estaciones de bombeo. Adquiera un grupo portátil e instale las conexiones adecuadas en cada estación de bombeo o haga los arreglos necesarios con el departamento de bomberos para bombear de una de las estaciones usando una de sus bombas. Asegúrese de que haya hidrantes para que los bomberos puedan usarlos para la conexión.

Almacenamiento – Zona de baja presión

Deficiencias

Cámara de presión 1.

- La proporción de altura con relación a diámetro es de 1,5 y el tanque no se encuentra anclado. Como resultado, es poco probable que el tanque resista un sismo moderado sin que se produzcan daños o fallas significativos.

Cámara de presión 2.

- La cámara de presión fue construida en conformidad con las normas AWWA D100 que incluyen recomendaciones para el diseño sísmico.
- Debido a que el tanque se encuentra en la zona sísmica 3 (zonificación del Código Uniforme de Construcción), las recomendaciones sísmicas se habrían basado en los requerimientos del usuario.
- La norma AWWA D100 solo exige criterios de diseño sísmico en la zona 4 designada por el Código Uniforme de Construcción.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación.

- Evalúe los criterios de diseño para la cámara de presión 2. Si su diseño no es sismorresistente, refuércelo.
- Es probable que la cámara de presión 1 requiera mejoras significativas. Considerando su edad, la estructura puede estar deteriorada.
- Evalúe la cámara de presión 1 tomando en cuenta la construcción de un tanque de almacenamiento de reemplazo.
- Instale válvulas de corte sísmico en cada cámara de presión para almacenar agua en caso de que el sistema de distribución resulte gravemente dañado.
- Instale válvulas controladoras de nivel para permitir que el caudal de agua de la zona de alta presión alimente a la zona de baja presión en caso de que la cámara de presión 1 falle y ambos cruces de río estén fuera de servicio.

Almacenamiento – Zona de alta presión

Deficiencias

Reservorio apoyado.

- No se conoce la vulnerabilidad del terraplén artificial ni los criterios de diseño sísmico para la cubierta de concreto. Si no es adecuado, podría colapsar y taponar la estructura de entrada.
- Debido a que la vía de acceso es inestable, podría restringir el acceso después de un terremoto.
- No cuenta con un sistema automatizado de válvulas de corte; si el reservorio falla, se podría producir una inundación aguas abajo.

Tanque elevado.

- Los tanques de esa época probablemente no fueron diseñados en conformidad con las normas vigentes. Pueden haber sido diseñados para soportar cierta carga sísmica estática.
- Los arriostramientos transversales con uniones empernadas son vulnerables en las uniones debido a la poca área transversal que pueden romperse antes de que la barra entre en fluencia.
- Las columnas individuales actuarán independientemente, dándole mayor vulnerabilidad al tanque.
- El tanque quizás sea susceptible a un sismo moderado. Si colapsa, caería en un área no cercada.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación

- El reservorio apoyado tiene el mayor volumen de almacenamiento de todo el sistema y puede abastecer a la zona de baja presión si se añade una válvula controladora de nivel.
- Investigue la estabilidad del terraplén artificial en el reservorio y la vía de acceso. Si son vulnerables, refuércelos.
- Si el nivel freático es alto debido a filtraciones del reservorio, instale un revestimiento flexible.
- Si bien la cubierta de concreto puede colapsar, no tendría el mismo efecto devastador que la ruptura del reservorio. La adecuación del coronamiento es una prioridad menor.
- Añada una válvula de corte en la salida del reservorio.

El tanque elevado tiene una capacidad mucho menor que el reservorio apoyado y abastece a la misma zona de presión. Es cuestionable si es económicamente factible reforzarlo según lo estipulado por las normas vigentes. Puede resultar más apropiado realizar intervenciones menos costosas que le permitirían soportar un evento sísmico moderado, pero aún así no cumpliría las normas vigentes.

Intervenciones que no son muy costosas pueden incluir el reemplazar los arriostramientos transversales y conectar las columnas de los cimientos individuales con vigas de conexión. Cuando decida reforzar uno de los componentes, tenga cuidado de no sobrecargar el otro (como las columnas de apoyo).

La información sobre el diseño original puede ser proporcionada por los fabricantes del tanque que a menudo conservan los planos de construcción y los ponen a disposición del propietario del tanque cuando se requiere una evaluación detallada de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

· American Concrete Institute. Concrete Environmental Engineering Structures, ACI Committee 350 Report. Detroit, Mich.: ACI.

· American Society of Civil Engineers, American Water Works Association. 1990. "Behavior/Design of Plants Subjected to Earthquakes", de Water Treatment Plant Design, 2da. Edición. Nueva York: McGraw-Hill.

· American Society of Civil Engineers, Pipeline Division, Committee on Pipeline Planning. 1992. Pressure Pipeline Design for Water and Wastewater. Nueva York: ASCE.

· American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. 1983. Advisory Notes on Lifeline Earthquake Engineering. Nueva York: ASCE.

· 1992. Lifeline Earthquake Engineering in the Central and Eastern U.S., Monograph No. 5. Donald Ballantyne, ed. Nueva York: ASCE.

· American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Gas and Liquid Fuels Committee. 1984. Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems. Douglas Nyman, ed. Nueva York: ASCE.

· American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Water and Sew-age and Seismic Risk Committees. 1991. Seismic Loss Estimates for a Hypothetical Water System – A Demon-stration Project, Monograph No. 2. Craig Taylor, ed. Nueva York: ASCE.

· American Water Works Association. 1984. ANSI/AWWA D100-84, Standard for Welded Steel Tanks for Water Storage. Denver, Colo.: AWWA.

· 1986. ANSI/AWWA D110-86, Standard for Wire-Wound Circular Prestressed-Concrete Water Tanks. Denver, Colo.: AWWA.

· 1987. ANSI/AWWA D103-87, Standard for Factory-Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage. Denver, Colo.: AWWA.

· 1988. ANSI/AWWA C153/A21.53-88, American National Standard for Ductile-Iron Compact Fittings, 3 In. Through 16 In., for Water and Other Liquids. Denver, Colo.: AWWA.

· 1994. AWWA Manual M19, Emergency Planning for Water Utility Management . Denver, Colo.: AWWA.

· Applied Technology Council, 1991. Seismic Design and Performance of Equipment and Nonstructural Elements in Buildings and Industrial Structures. Report No. ATC-29. Financiado por el National Center for Earthquake Engineering Research and the National Science Foundation. Redwood City, California.

· Ballantyne, D.B. 1991. Lifelines, Costa Rica Earthquake of April 22, 1991 Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement B to Volume 7. Oakland, Calif.: Earthquake Engineering Research Institute.

· 1992. Monitoring, Instrumentation and Innovative Devices for Lifeline Systems. Presentado el 26-2-27 octubre de 1992 en el Fifth U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Tsukuba, Japón.

· 1992. Thoughts on a Pipeline Design Standard Incorporating Countermeasures for Permanent Ground Deformation. Extraído de Proceedings from the Fourth Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction. NCEER Technical Report 9200019.

· 1991. Water, Sewer, and Hydro System Damage, Philippine Earthquake Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 7. Oakland, Calif.: Earthquake Engineering Research Institute.

Barlett, S.F. and T.L. Youd. 1992. Empirical Prediction of Lateral Spread Displacements. *Proceedings from the Fourth Japan-U.S. Workshop from Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction*, Volume 1. pp 351-365. M. Hamada and T.D. O'Rourke, eds. National Center for Earthquake Engineering Research Technical Report No. 92-0019.

· Buckle, I. and J. Jirsa. 1993. *Mitigation of Damage to the Built Environment*, Monograph No. 2. Preparado para la 1993 National Earthquake Conference, Central United States Earthquake Consortium, Memphis, Tenn.

· Building Officials and Code Administrators International. *BOCA/Basic Building Code*. Homewood, Ill.

(Tri-Service Manual) Army Technical Manual No. 5-809-10, NAVFAC P-355, Air Force Manual No. 88-3, Capítulos 10-13.

· Federal Emergency Management Agency. 1993. A Model Methodology for Assessment of Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Water Supply Systems. Earthquake Hazard Reduction Series. Washington D.C.: FEMA.

· 1991. *Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Coterminous United States*, Earthquake Hazard Reduction Series 58. Washington D.C.: FEMA.

· 1988. *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Earthquake Hazards Reduction Series 41. Washington D.C.: FEMA.

· 1985. *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide*. Earthquake Hazards Reduction Series 1. Washington D.C.: FEMA.

· Harding Lawson Associates, Dames & Moore, Kennedy/Jenks/Chilton, and EQE Engineering. 1991. Liquefaction Study, Marina District, San Francisco, California. Preparado para el City and County of San Francisco Department of Public Works.

· Housner, G. 1963. *Nuclear Reactors and Earthquakes*. Washington D.C.: US Atomic Energy Commission, Division of Technical Information.

· International City Management Association. 1991. *Emergency Management: Principals and Practice for Local Government*. Washington, D.C.: ICMA.

· International Conference of Building Officials. 1991. Uniform Building Code. Whittier, Calif.

Japan Society of Civil Engineers, Earthquake Engineering Committee. 1988. *Earthquake Resistant Design for Civil Engineering Structures in Japan*. Tokio, Japón.

· Kennedy/Jenks/Chilton. 1990a. 1989 *Loma Prieta Earthquake Damage Evaluation of Water and Wastewater Treatment Facility Nonstructural Tank Elements*, Report No. 896086.00. Preparado para la National Science Foundation.

· 1990b. *Earthquake Loss Estimation Modeling of the Seattle Water System*. Report No. 886005.00. Federal Way, Wash.: Kennedy/Jenks/Chilton.

· Lund, L., G. Laverty, and D.B. Ballantyne et al. 1990. *Water and Sewage Systems*. Lifeline Chapter in the Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report, Earthquake Spectra of the Earthquake Engineering Research Institute, Suplemento del Volumen 6.

· National Fire Protection Association. 1989. NFPA No. 13, *Installation of Sprinkler Systems*. Quincy, Mass.

· O'Rourke, M.J., and C. Nordberg. 1992. *Longitudinal Permanent Ground Deformation Effects on Buried Continuous Pipelines*. NCEER-92-0014. Buffalo, N.Y.

· Seed, H.B., and R.V. Whitman. 1970. Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads. *Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures*. Pp 103-147. Nueva York, N.Y.: American Society of Civil Engineers.

· Sheet Metal and Air Condition Contractors National Association Inc. Seismic Restraint Task Force. 1991. *Seismic Restraint Manual Guidelines for Mechanical Systems*. Chantilly, Va.

· Slemmons, D. 1977. Faults and Earthquake Magnitude. Report 6 in *State of the Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States*. Misc. paper S 73-1. US Army Engineering Water Ways Experiment Station.

· Southern Building Code Congress. *Standard Building Code*. Birmingham, Ala.

· Youd, T.L. and D.M. Perkins. 1987. Mapping of Liquefaction Severity Index. *Journal of Geotechnical Engineering*. 113(11): 1374-1392.

ABREVIATURAS

CCM Centro de control de motores
COE Centro de operaciones de emergencia
DPS Deformación permanente del suelo
FEMA Federal Emergency Management Agency
IMM Intensidad de Mercalli Modificada
L/D Proporción de longitud con relación al diámetro de la tubería
LSI Índice de intensidad de la licuefacción
MNR Mampostería no reforzada
PGA Aceleración máxima del suelo
PGV Velocidad máxima del suelo
PVC Policloruro de vinilo
RLM Regresión lineal múltiple (análisis)
SCADA Supervisory control and data application
SIG Sistema de información geográfica
TBO Terremoto moderado o de base operativa
TDD Terremoto severo o de diseño
TME Terremoto máximo esperado